

DISTRIBUTION DES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES DANS LES SOLS AVOISINANT LA CIMENTERIE DE BOUSKOURA-MAROC DISTRIBUTION OF TRACE METALS IN SOILS AROUND THE BOUSKOURA CEMENT PLANT MOROCCO

Najib Saber

Zakaria Chemsî

Fatna Zaakour

Fatimaezzahra Matech

Kaoutar Moustarihfer

Hajar Mohcine

Université Hassan II-Mohammedia-Casablanca, Faculté des Sciences Ben
M'Sik, Département de Géologie, Laboratoire Géologie Appliquée
Géomatique et Environnement, Casablanca, MAROC

Abstract

To appreciate the impact of dust from Bouskoura cement plant on the agricultural soils quality, analysis of agronomic parameters (pH, organic carbon and CaCO_3) and metallic trace elements was assessed (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn). Eighty samples were taken from horizons [0-10cm] and [10-20cm]. The most important results show that the alkalinity of soils rich in CaCO_3 is linked to cement dust emission, and highlight a significant spatial variation of pH, CaCO_3 , Pb and Zn. The results also infer that the soils quality is affected by dust emitted from the cement and practiced agriculture. These soils show Ni anomalies in some plots at different stations, Cd anomalies in the various stations and Zn anomalies at station I, II and III.

Keywords : Impact of dust, Bouskoura cement plant, soils quality, agronomic parameters, metallic trace elements

Resume

L'effet des poussières émanant de la Cimenterie de Bouskoura sur la qualité des sols agricoles avoisinants a été apprécié à travers les paramètres agronomiques (pH, Carbone Organique et CaCO_3) et les éléments traces

métalliques (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn). Quatre-vingt échantillons de sols ont été prélevés suivant les horizons [0-10cm] et [10-20cm]. Les résultats les plus importants ont permis de lier l'alcalinité des sols à ces poussières riches en CaCO_3 , et de mettre en évidence une variation spatiale significative de pH, CaCO_3 , Pb et Zn. Les mêmes résultats montrent aussi que la qualité des sols est affectée en plus des poussières émises de la cimenterie par la nature de l'agriculture pratiquée. Ces sols présentent des anomalies en Ni dans quelques parcelles au niveau des différentes stations, en Cd dans toutes les stations et en Zn au niveau des stations I, II et III.

Mots clés : Effet des poussières, Cimenterie de Bouskoura, qualité des sols, paramètres agronomiques, éléments traces métalliques

Introduction

Le sol, ressource naturelle essentielle, est le support de nombreuses activités industrielles, agricoles et urbaines. Le développement de ces activités entraîne une forte augmentation des teneurs en éléments trace métalliques (ETM) et peut alors en devenir la source prédominante par rapport à ceux d'origine géogène : pool de métaux issus de l'altération du matériau parental à la base du sol qui constituent le fond géochimique (Fernandez-Cornudet, 2006). La contamination métallique des sols, suite aux retombées atmosphériques locales (industrielles et urbaines) et à des apports divers (boues de stations d'épuration, composts, engrais...) anciens ou actuels, explique notamment dans les horizons de surface, les teneurs actuelles en éléments trace métalliques tels que Cd, Cu Ni, Pb et Zn. Cependant, malgré un effet d'accumulation évident, le transfert de métaux vers la profondeur est également noté, le plus souvent déduit à partir de comparaisons des teneurs totales en métaux dans les différents horizons d'un sol (Van Oort et al., 2002 ; Sterckeman et al., 2002).

L'accumulation des éléments traces métalliques dans un sol peut entraîner une perte de ses fonctions qui influencera sa productivité, son environnement immédiat et par conséquent la santé humaine. La pollution des sols en éléments traces métalliques peut avoir des implications directes sur l'alimentation humaine par l'absorption des cultures (Kabara-Pendias & Pendias, 2001 ; Nicholson et al., 2003 ; CCME, 2007 ; Kabbata-Pendias & Mukherjee, 2007).

Les concentrations et la biodisponibilité des éléments traces métalliques dans le sol fluctuent dans le temps et l'espace (Fostner & Wittmann, 1983, Ahumada et al., 1999, Dang et al., 2002). Ces concentrations sont accentuées au voisinage de diverses activités anthropiques telles que les mines, les fonderies, les cimenteries... (Adejumo Obioh et al., 1994 ; Kamon et al., 2000 ; Ract et al., 2003).

Les cimenteries sont des sources majeures de concentrations élevées en éléments traces métalliques dans l'environnement (Isikli et al., 2003 ; Al-khashman&Shawabekh, 2005 ; Abimbola et al., 2007 ; Gbadebo&Bankole, 2007, Mandal&Voutchkov, 2011). En effet, les particules qui sont générées par des cimenteries affectent la qualité de l'air (Chen Wong et al., 1997 ; Gray et al., 2003 ; Bin Chen et al., 2005, Biasioli et al., 2006) et entrent dans le sol sous forme de dépôts secs ou humides et engendrant, alors, un impact sur ses propriétés physico-chimiques (Kabata-Pendias&Mukherjee, 2007). Par ailleurs, des études menées par Kabata-Pendias&Mukherjee (2007) ont montrées qu'il existe des éléments traces métalliques qui sont toxiques pour les humains et les plantes même à de faibles concentrations.

En effet, Carreras and Pignata (2002) et Schuhmacher, Nadal and Domingo (2009) ont démontré que les poussières et les produits chimiques liés à la cimenterie peuvent se propager sur une grande surface par les vents et les pluies, et s'accumulent dans les plantes, les animaux et les sols. De plus, en raison de leurs propriétés alcalines, ces poussières de calcaire influencent les plantes (Grantz et al., 2003).

L'objectif principal de la présente étude est la mise en exergue de la distribution et le mouvement des éléments traces métalliques sur les sols avoisinant la cimenterie de Bouskoura et les facteurs influençant la distribution spatiale des paramètres physicochimiques et des éléments traces métalliques.

Materiels et methodes

Situation Géographique et Cadre Climatique

La zone d'étude se trouve dans la province de Nouaceur, au Sud de la Wilaya du Grand Casablanca. Elle est limitée au Nord par l'Océan Atlantique et par la Préfecture de Casablanca, à l'Est par la Province de Médiouna, à l'Ouest et au Sud Est par la Province de Settat.

La région étudiée fait partie d'une plaine dominée par l'importance des sédiments géologiques d'âges variables : Cambrien, Ordovicien, Trias Crétacé, Miocène et Pliocène.

Les dépôts continentaux du Quaternaire consistent en conglomérats et en limons rouges inférieurs (Piqué, 1994).

La nature des sols de la zone d'étude est limono-sableuse (Chemsî et al., 2013).

Le climat de la zone est caractérisé par l'influence de l'océan atlantique qui diminue en s'éloignant de la mer (HCP, 2010). La saison chaude correspond à la période comprise entre avril et octobre, alors que la saison froide est comprise entre novembre et Mars (HCP, 2010).

Les précipitations annuelles dans le bassin sont modestes et ne dépassent guère 500 mm.

La zone d'étude se situe dans une région classée à la limite de la zone des vents à vitesses inférieures à 3 m/s et celle dont les vitesses moyennes sont comprises entre 3 et 4 m/s (HCP, 2010).

L'analyse de la rose des vents de la station météorologique de Nouaceur montre que les vents prédominants sont orientés dans les directions Nord Nord-Ouest à Nord, leur vitesse dépasse rarement les 9 m/s, avec des pourcentages de 10 % dans la direction Nord. Les périodes calmes (vitesses inférieures à 2 m/s) représentent 23 % des observations indiquant que les vents ont une vitesse comprise entre 2 et 4 m/s (HCP, 2010).

Méthodologie

L'échantillonnage du sol a été effectué au niveau des terrains agricoles situés à différentes distances de l'usine de ciment avec un maillage de 100 mètres au mois de Juin 2012. Les points de prélèvement sont au nombre de 40, pour chaque point on a récolté deux échantillons : le premier se situe dans l'horizon superficiel [0-10 cm] et le deuxième dans l'horizon [10-20 cm].

Les échantillons récoltés, sont répartis par groupe de 10 suivant quatre orientations par rapport à la cimenterie, chaque groupe correspond à une station (figure 1):

- La station I est orientée vers le Nord-Ouest (points d'échantillonnage NO1 à NO10);
- La station II est orientée vers le Nord (points d'échantillonnage N1 à N10);
- La station III est orientée vers le Sud (points d'échantillonnage S1 à S10);
- La station IV est orientée vers l'Est (E1 à E10).

La mesure du Carbone Organique a été effectuée selon la méthode de Walkley et Black (1934), celle du pH par la méthode de Mc Lead (1982) et le dosage de CaCO_3 par la méthode de Bernard.

L'analyse des éléments traces métalliques a été réalisée par la méthode ICP-AES au Centre National de la Recherche Scientifique et Technique de Rabat au Maroc). Le laboratoire d'analyses de ce centre utilise des standards (précis de 1000 ppm de Jobin Yvon) certifiés par ISO 9001 qualité assurance system.

Le traitement des résultats est réalisé par Excel et le logiciel R à travers le Test Anova et le Test Tukey afin de mesurer le degré de corrélation et identifier la source de variation spatiale.

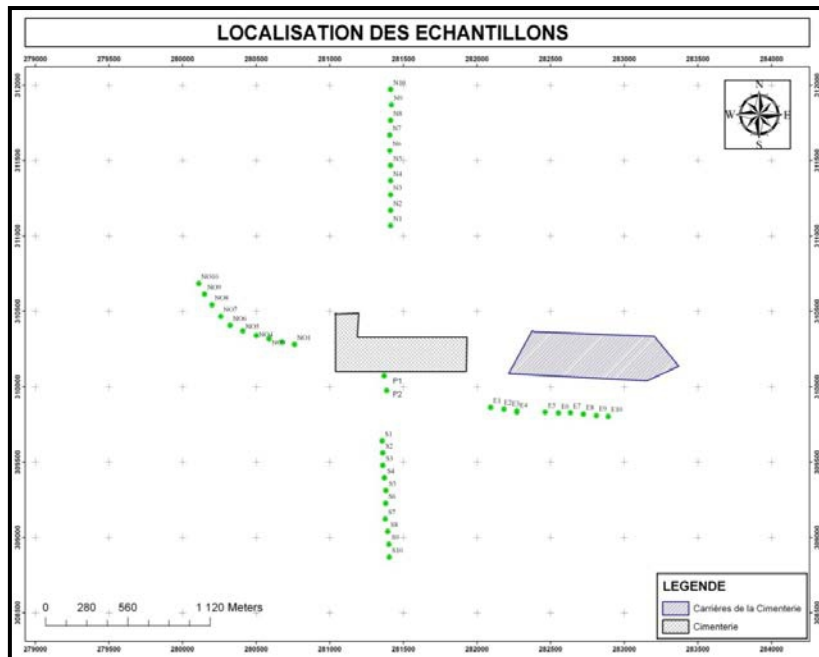


Figure1 : Localisation des échantillons

Resultats

Paramètres agronomiques

Texture

Afin de caractériser les sols environnants de la cimenterie, l'analyse de la texture nous a permis de mettre en évidence un type de sols limono-sableux avec des pourcentages d'argiles variant entre 6,3% et 8,3%, de sables variant de 57,30% à 74,30% et de limons variant de 19,40% à 35% (Tableau 1).

Tableau1 : Caractéristiques des sols de la zone d'étude.

Echantillon	Argiles	Limons	Sables	Type de sol
Station I	[0-10cm] 6,30%	19,40%	74,30%	Limono-Sableux
	[10-20cm] 8,00%	20,55%	71,45%	
Station III	[0-10cm] 7,80%	34,80%	57,40%	
	[10-20cm] 7,70%	35,00%	57,30%	
Station IV	[0-10cm] 8,30%	22,60%	69,10%	
	[10-20cm] 7,60%	21,90%	70,50%	

Carbone Organique

Les analyses du Carbone Organique dans les différentes stations permettent de constater que la répartition du taux de Carbone est variable suivant la distance par rapport à la cimenterie. Ainsi, dans la station I, on remarque que le taux du Carbone enregistre des valeurs comparables dans les deux horizons (0-10cm et 10-20cm) à 100m de la cimenterie, puis connaît des variations distinctes entre les deux horizons à 200 et 300m. De 400 à

500m le taux de Carbone reste comparable dans les deux horizons jusqu'à 700m avec des valeurs inférieures à 1%. A partir de 800m le Carbone organique enregistre des valeurs qui dépassent 1,5% pour atteindre 2,69% et puis connaît une baisse à moins de 1,5% et ce, pour les deux horizons (Figure 2).

Dans la station II, les courbes de variations des taux de Carbone organique indiquent des comportements comparables pour les deux horizons de 300 à 700 m de la cimenterie et des valeurs distinctes entre les deux horizons de 100 à 200m et de 800 à 900m. Ces variations sont décrites comme suite :

- Dans l'horizon [0-10cm]: on note une diminution de 2,33 à 0,72% entre 200 et 500m, une augmentation de 0,72 à 1,62% entre 500 et 700m et une augmentation de 0,90 à 2,15% entre 800 et 1000m ;
- Dans l'horizon [10-20cm] : on enregistre une diminution de 3,23 à 0,90% entre 200 et 400m et une augmentation de 0,90 à 1,79% entre 400 et 700m.

Dans la station III, le taux de Carbone enregistre des valeurs comparables au niveau des deux horizons de 100 à 800m et un comportement différent de ces valeurs au-delà de cette distance (Figure 2).

Dans la station IV, le taux de Carbone Organique montre un comportement similaire de 400 à 800m suivant les horizons avec des valeurs plus élevées dans l'horizon [0-10cm] en comparaison avec l'horizon [10-20cm]. Les valeurs enregistrées varient entre 1,17 et 1,87% dans toute la station. (Figure 2)

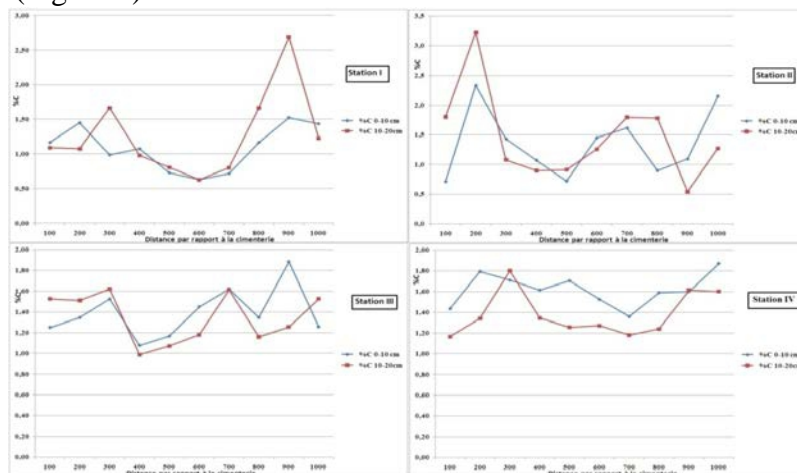


Figure2 : Diagrammes de variation spatiale du Carbone Organique

pH

Les mesures obtenues pour le pH indiquent des valeurs comparables dans les deux horizons avec des tendances à la baisse suivant l'éloignement

de la cimenterie dans la station I (pH=8,37 à 100m et pH≈7 à 1000m) alors que dans la station III on note une tendance inverse traduit par l'augmentation du pH suivant l'éloignement de la cimenterie (pH=7,93 à 100m à un pH=8,87 à 1000m).

Les stations II et IV, présentent des valeurs du pH généralement comparables entre les deux horizons avec évolution variable en fonction de la distance. Les valeurs de pH varient de 7,15 à 8,18 dans l'horizon [0-10cm] et de 7,31 à 8,35 dans l'horizon [10-20cm] dans la station II tandis que l'alcalinité varie dans la station IV de 7,84 à 8,16 dans l'horizon [0-10cm] et de 7,73 à 8,12 dans l'horizon [10-20cm] (Figure 3).

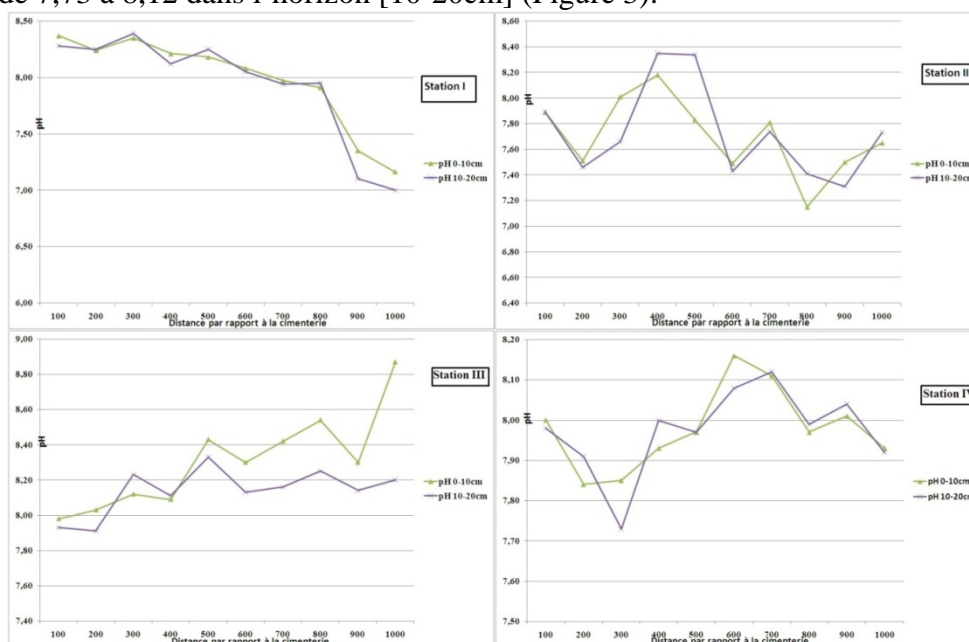


Figure3 : Diagramme de variation spatiale du pH

Carbonates de Calcium

Dans la station I, la variation de CaCO_3 est similaire entre les deux horizons [0-10cm] et [10-20cm] et connaît globalement une brusque diminution entre 100m et 500m (valeurs à 100m à valeurs à 500m) puis montre une légère stabilité jusqu'à 1000 m (valeurs à 1000m).

Dans la station II, la variation est similaire entre les deux horizons entre 100 et 200m et entre 400 et 600m de la cimenterie. Dans l'horizon [0-10cm] on enregistre une augmentation jusqu'à 9,18% à 300m de la cimenterie puis une diminution pour atteindre 1,01% à 1000m avec une augmentation à 700m, tandis que dans l'horizon [10-20cm] on enregistre une augmentation jusqu'à une distance de 400m loin de la cimenterie pour atteindre 9,18% puis diminue jusqu'à 2,03%.

La station III montre une variation identique entre les deux horizons. On enregistre une augmentation progressive de CaCO_3 pour atteindre respectivement 8,27 et 6,43% dans les horizons [0-10cm] et [10-20cm].

La variation de CaCO_3 dans la station IV est similaire entre 400 et 1000m au niveau des deux horizons. On remarque que l'horizon [10-20cm] présente une légère diminution du % de CaCO_3 jusqu'à 500m où il atteint 4,57% puis une augmentation progressive pour enregistrer 8,91% à 1000m de la cimenterie. Quant à l'horizon [0-10cm], on note qu'après une nette diminution du % CaCO_3 entre 100 et 200 m, on assiste à une ré-augmentation globale de 200 à 1000m de la cimenterie pour atteindre 8,27% avec une stabilisation entre 400 et 600m (Figure 4).

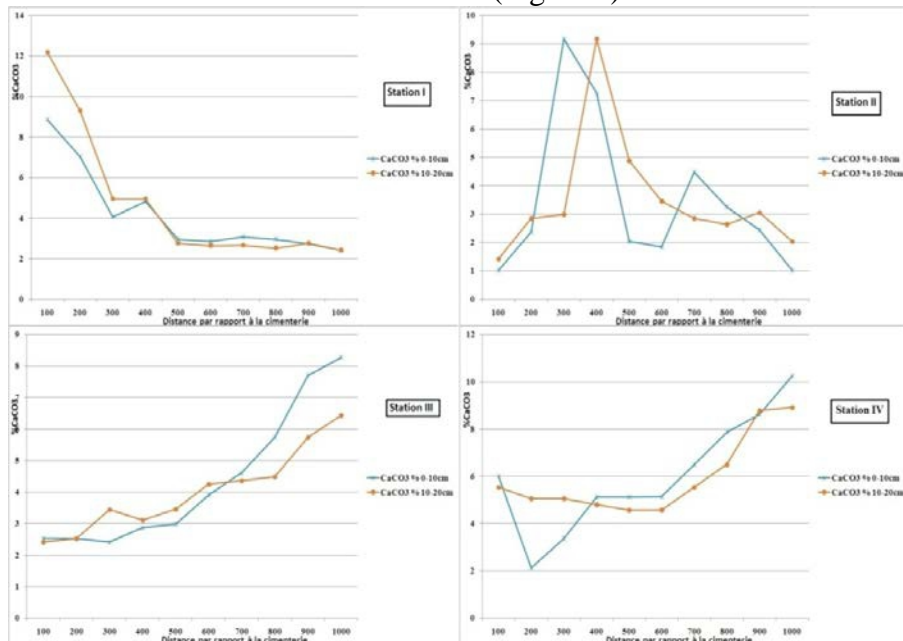


Figure3 : Diagramme de variation spatiale de CaCO_3

Eléments traces métalliques

Cadmium

Généralement, dans la station I, les teneurs en Cd augmentent en s'éloignant de la cimenterie avec une variation aléatoire donnant une valeur maximale de 12,47ppm à 800m et 9,28ppm à 700m respectivement dans les horizons [0-10cm] et [10-20cm]. La même variation est enregistrée dans la station II mais en diminution avec des valeurs maximales de 8,76 et 7ppm et minimales de 2,09 et 1,81ppm respectivement dans les horizons [0-10cm] et [10-20cm], distinguant une diminution à partir de 400m puis une reprise de l'augmentation à 800m dans l'horizon [0-10cm].

Or, dans les stations III et IV, la variation est aléatoire avec des teneurs maximales de 9,99 et 6,97ppm et minimales de 3,17 et 2,94ppm

respectivement dans les horizons [0-10cm] et [10-20cm] dans la station III. Dans la station IV, les teneurs maximales sont 5,95 et 10,73ppm et minimales sont 3,54 et 4,28ppm respectivement dans les horizons [0-10cm] et [10-20cm]. (Figure 5)

Par ailleurs, dans les stations III et IV, on note deux augmentations brusques au niveau de deux parcelles (Figure 5) :

- Station III ; dans l'horizon [0-10cm] au niveau des parcelles qui sont loin de la cimenterie de 300 et 700m ;
- Station IV ; dans l'horizon [10-20cm] au niveau des parcelles qui sont loin de la cimenterie de 500 et 1000m.

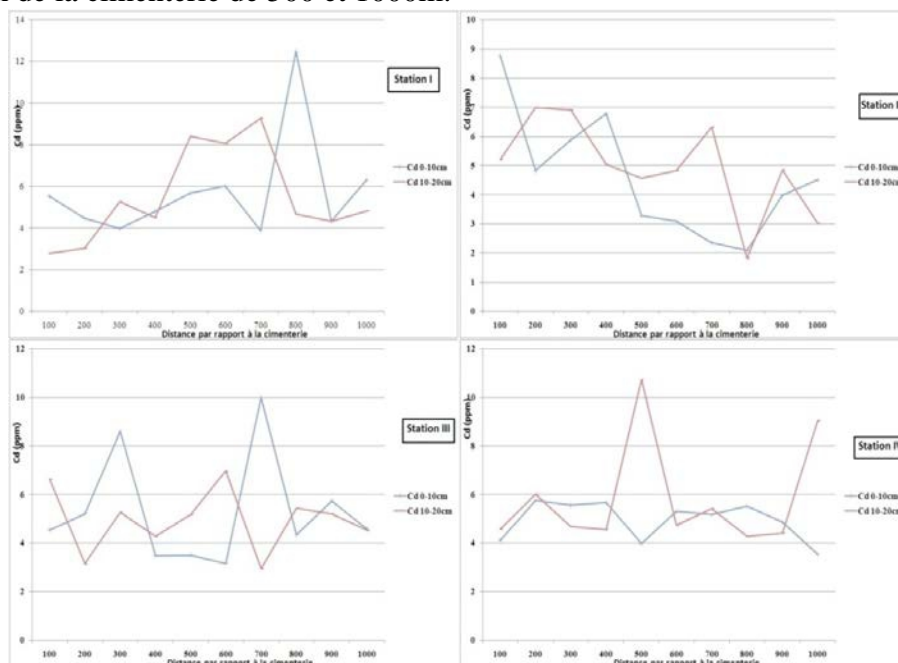


Figure4: Diagramme de variation spatiale du Cd

Cuivre

Dans la Station I, la variation spatiale du Cuivre enregistre des teneurs maximales de 47,69 et 36,19ppm et minimales de 18,81 et 15,60ppm respectivement dans les horizons [0-10cm] et [10-20cm]. Cette variation est répartie en trois intervalles dans l'horizon [0-10cm] et en deux parties au niveau de l'horizon [10-20cm]. En effet, dans l'horizon [0-10cm], on distingue une diminution entre 100 et 300m, une augmentation entre 300 et 600m et une diminution progressive entre 600 et 1000m. Et dans l'horizon [10-20cm], on distingue une légère augmentation entre 100 et 300m et une légère stabilité entre 600 et 1000m.

Dans la station II, on enregistre des valeurs comparables à 200, 700, 800 et 900m entre les deux horizons. Les teneurs en Cuivre augmentent pour

atteindre 50,43ppm à 600m de la cimenterie puis diminue jusqu'à 30,55ppm puis reprend son augmentation dans l'horizon [10-20cm]. Tandis que dans l'horizon [0-10cm], on note une variation aléatoire.

Dans la station III, on distingue plusieurs variations. Dans l'horizon [0-10cm], les teneurs en Cu augmente entre 100 et 300m puis diminue entre 300 et 500m pour reprendre ses augmentations jusqu'à atteindre une valeur maximale de 42,43ppm à 900m de la cimenterie. Or, dans l'horizon [10-20cm], les teneurs en Cu varient en deux parties en augmentant entre 300 et 600m et diminuant entre 600 et 800m avec une fluctuation de 50,61ppm à 200m.

Dans la station IV les teneurs augmentent jusqu'à 46,46ppm à 400m de la cimenterie et connaissent une légère stabilité à partir de 600m dans l'horizon [0-10cm]. Dans l'horizon [10-20cm] on note une diminution progressive à partir de 200m de la Cimenterie pour arriver à 22,70ppm (Figure 6).

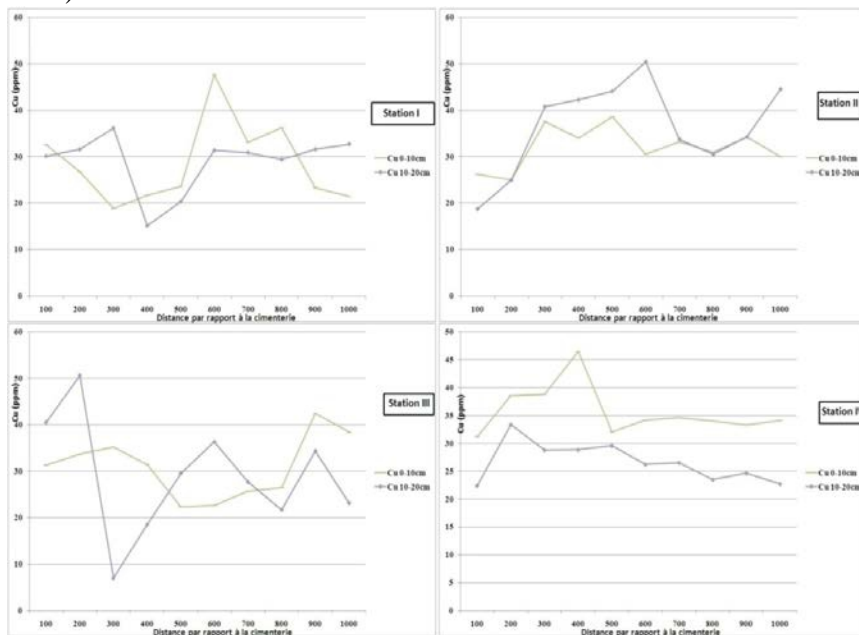


Figure5 : Diagramme de variation spatiale du Cu

Nickel

Les teneurs en Ni prennent plusieurs formes de variation au niveau des différentes stations (Figure 7), on note:

- Dans la station I : une variation aléatoire avec des valeurs maximales et minimales respectivement de 48,80 et 22,04ppm dans l'horizon [0-10cm] et de 124,01 et 17,86ppm dans l'horizon [10-20cm] ;
- Dans la station II : Une diminution entre 200m et 600m et une légère augmentation entre 800 et 1000m de la cimenterie avec des valeurs

maximales et minimales de 33,15 et 6,26ppm dans l'horizon [0-10cm]. Or dans l'horizon [10-20cm], on enregistre des valeurs maximales et minimales de 54,86 et 3,02ppm ;

- Dans la station III : Une augmentation entre 400 et 700m de la cimenterie avec des valeurs maximales et minimales respectivement de 44,72 ppm et 0 dans l'horizon [0-10cm]. Tandis que dans l'horizon [10-20cm], on note une fluctuation à 300m et une augmentation progressive entre 400 et 900m avec des valeurs maximales et minimales de 126,36 et 22,10ppm. On note aussi une variation similaire de 100 à 600m et de 800 à 1000m entre les deux horizons;

- Dans la station IV : Une légère stabilité dans les parcelles situées entre 400 et 800m loin de la cimenterie avec des valeurs maximales et minimales respectivement de 64,57 et 25,44 ppm dans l'horizon [0-10cm]. Dans l'horizon [10-20cm] on enregistre des valeurs maximales de 282,18 et 21,18ppm.

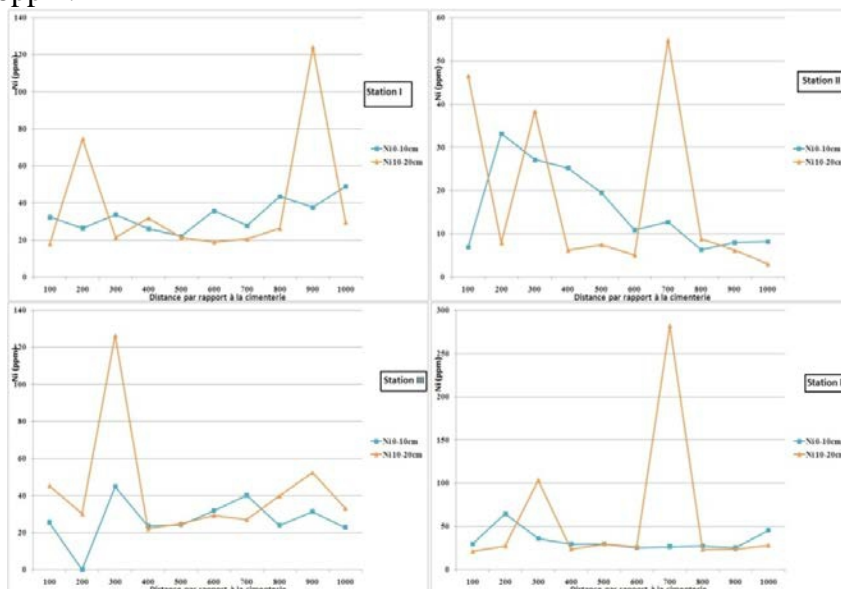


Figure6 : Diagramme de variation spatiale du Ni

Plomb

Les teneurs en Pb varient comme suit (Figure 8) :

- Dans la station I : les teneurs en Pb diminuent entre 300 et 500m puis augmentent entre 500 et 900m et enregistrent des valeurs maximales et minimales respectivement de 11,07 et 4,72ppm dans l'horizon [0-10cm]. Dans l'horizon [10-20cm], on note une augmentation entre 100 et 500m de la cimenterie et une fluctuation à 600m et des valeurs maximales et minimales de 8,68 et 2,92ppm dans l'horizon [10-20cm]. On note également une variation similaire entre 700 et 1000m entre les deux horizons ;

- Dans la station II : Dans l'horizon [0-10cm], on note une augmentation entre 100 et 400m puis une diminution progressive entre 400 et 800m et enfin une augmentation, avec des valeurs maximales et minimales de 18,94 et 7,16ppm. Dans l'horizon [10-20cm], on note une augmentation et diminution remarquable entre 300 et 500m et entre 500 et 700m et des valeurs maximales et minimales de 34,49 et 10,71ppm ;
- Dans la station III : Deux augmentations sont notées entre 300 et 500m et entre 600 et 900m dans l'horizon [0-10cm] avec des valeurs maximales et minimales de 13,48 et 7,02ppm. Et on enregistre une fluctuation au niveau des parcelles existant à 300 et 800m de la cimenterie et des valeurs maximales et minimales de 12,94 et 1,05ppm dans l'horizon [10-20cm] ;
- Dans la station IV : On enregistre une variation identique entre 500 et 1000m de la cimenterie entre les deux horizons. En outre, on note une diminution entre 400 et 800m de la cimenterie et des valeurs maximales et minimales de 37,34 et 6,74ppm dans l'horizon [0-10cm]. Et une diminution entre 500 et 800m avec des valeurs maximales et minimales de 13,63 et 4,87ppm dans l'horizon [10-20cm].

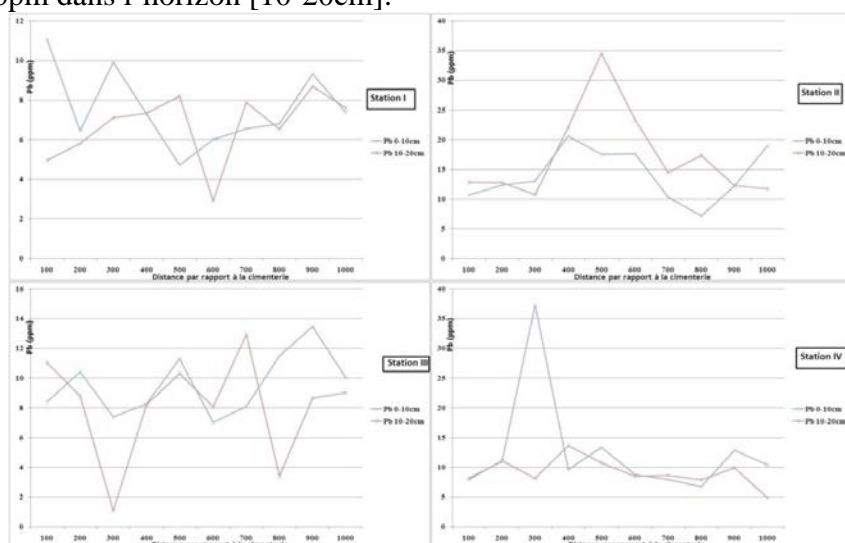


Figure8 : Diagramme de variation spatiale du Pb.

Zinc

La variation des teneurs en Zn est aléatoire et connaît des fluctuations (Figure 9), on note :

- Dans la station I : des valeurs maximales et minimales respectivement de 1404,43 et 400,20ppm dans l'horizon [0-10cm] et de 2127,09 et 557,76ppm dans l'horizon [10-20cm] ;
- Dans la station II : des valeurs maximales et minimales de 121,15 et 49,61ppm dans l'horizon [0-10cm] et 176,89 et 17,70ppm dans l'horizon

[10-20cm]. Et on remarque une variation similaire de 200 à 400m et de 500 à 900m entre les deux horizons ;

- Dans la station III : des valeurs maximales et minimales respectivement de 1847,43 et 42,73ppm dans l'horizon [0-10cm] et de 444,27 et 3,51ppm dans l'horizon [10-20cm] ;

- Dans la station IV : des valeurs maximales et minimales respectivement de 2901,16 et 1439,36ppm dans l'horizon [0-10cm] et de 2427,23 et 1356,03ppm dans l'horizon [10-20cm]. On note aussi une variation identique de 100 à 300m entre les deux horizons.

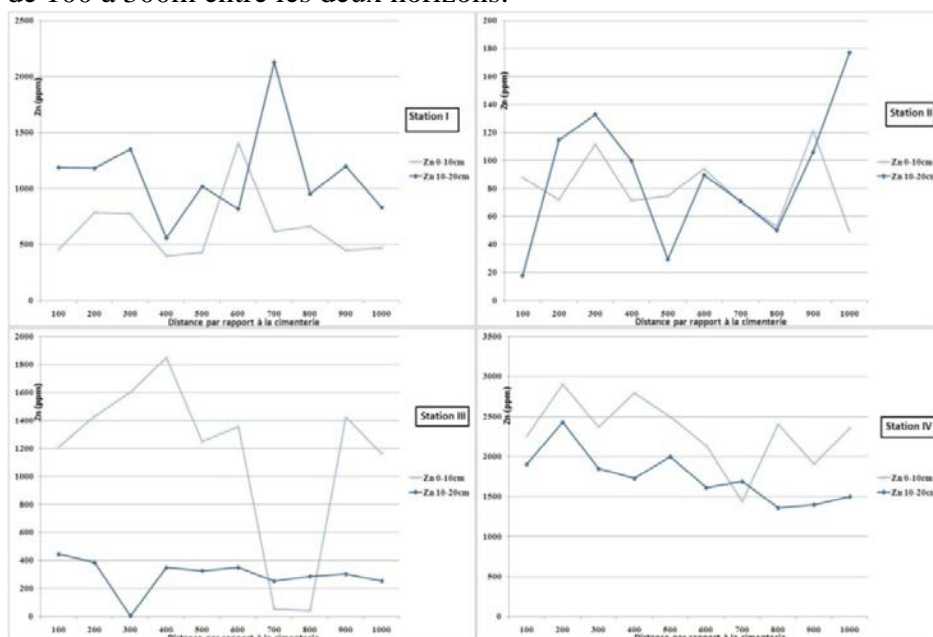


Figure9 : Diagramme de variation spatiale du Zn

Analyse statistique

Test Anova

Les concentrations des éléments traces métalliques ont été comparées en utilisant le Test ANOVA pour calculer la signification statistique de la moyenne et mettre en évidence la variation spatiale des éléments traces métalliques et les caractéristiques physicochimiques des sols. La différence pour chaque concentration d'élément trace métallique est significative à $P < 0,05$ (Carreras & Pignata, 2002).

Les résultats du Test ANOVA montrent des différences significatives entre les sites concernant le pH, CaCO_3 , Pb et Zn qui ont respectivement des valeurs significatives de l'ordre de $P=0$, $P=0,008$, $P=0$ et $P=0$ (Tableau 2) et des différences non significatives pour le Carbone Organique et le reste des éléments traces métalliques (Tableau 2).

Tableau2 : Variation spatiale des éléments traces métalliques par le Test ANOVA.

Parameters	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Corg	7614,3887	79	0,18933	1,9292	0,132
pH	766,9021	79	0,09082	9,4289	0,000*
CaCO ₃	76392,69	79	5,167	4,2009	0,008*
Cd	76284,234	79	3,7399	0,7477	0,527
Cu	764696,3	79	61,793	1,8241	0,150
Ni	92287	79	1214,3	2,4475	0,070
Pb	1780,12	79	23,423	11,493	0,000*
Zn	14680800	79	193168	67,621	0,000*

F : found variation of the group averages/expected variation of the group averages.

*: Significant difference between the samples. Significant at $P < 0,05$. ddl: Degree of Freedom

Test Tukey

Les résultats du Test Tukey montrent des différences significatives de distribution entre :

- Les stations II et IV pour le pH, CaCO₃, Pb et Zn (Signification $p \leq 0,05$).
- Les stations II et III pour le pH, Pb et Zn.
- Les stations I et III pour le pH (Signification $p \leq 0,05$).
- Les stations I et II pour le Pb et Zn ;
- Les stations I et IV et entre les stations II et III pour le Zn (Signification $p \leq 0,05$). (Tableau 3)

Tableau3 : Résultats du Test Tukey pour les différences de distributions entre les stations.

Paramètres	Stations corrélées	Signification
Corg	-	-
pH	II et IV	0,04
	II et III	0,00
	I et III	0,03
CaCO ₃	II et IV	0,005
Cd	-	-
Cu	-	-
Ni	-	-
Pb	II et IV	0,014
	I et II	0,00
	II et III	0,00
Zn	II et IV	0,00
	I et IV	0,00
	III et IV	0,00
	I et II	0,00
	II et III	0,00

Discussion

Nos résultats ont montré des différences significatives entre les sites et le pH, CaCO₃, Pb et Zn (Tableau 2). Tandis qu'Al Khashmanet al.(2005) ont trouvé des différences significatives entre les sites et le Pb, Cd et le Cu.

Ces résultats montrent que le pH, CaCO_3 , Pb et Zn sont influencés par des facteurs caractérisant chaque station, notamment la localisation des terrains par rapport à la cimenterie et les carrières.

La différence de distribution de l'alcalinité entre les stations II et III avec les autres stations est expliquée par l'influence des poussières émises de la cimenterie et par la proximité des parcelles étudiées des carrières de la cimenterie. Ces émanations sont riches en calcaire qui influence l'alcalinité et permettent une forte accumulation des poussières dans les parcelles des stations II et III à cause des vents dominants qui sont orientés vers ces parcelles (Chemsiet al.,2013).

Les parcelles de la station IV, qui se situent à proximité des carrières de la cimenterie, subissent l'influence des vents dominants qui ont un pourcentage de 6% (DMNM, 2013), tandis que les parcelles de la station II, qui sont loin des carrières, connaissent le passage des vents moins dominant (2%) (DMNM, 2013), ce qui explique la différence significative de distribution spatiale de CaCO_3 entre les parcelles des stations II et IV (Tableau3).

Par ailleurs, les différences de distribution significatives enregistrées pour le Pb sont expliquées par la variation de l'alcalinité en fonction de l'espace qui est due à la cimenterie et ses carrières. En effet, la variation du pH modifie les liaisons du Pb aux différents éléments présent dans le sol et donc plus le pH est basique plus les liaisons se font et donc moins le Pb est disponible (Sanders, 1983 ; Christensen, 1984 ; Sanders et al., 1986).

Les différences de distribution significatives entre les stations pour le Zn sont dues aux variations des pourcentages argileux variant entre 6,3 et 8,3% (Tableau 1), et dues aussi aux variations des teneurs en Carbone Organique qui varient de 0,54 à 3,23%. En effet les minéraux argileux absorbent et immobilisent le Zn, et le Carbone Organique du sol en formant alors un complexe organométallique (Li & Li, 2000 ; Lamy, 2002).

Conclusion

La qualité des sols avoisinants la cimenterie appréciée à travers les paramètres agronomiques (Carbone Organique, pH, CaCO_3) permet de conclure que :

- La texture des sols est de type sablo-limoneux avec des pourcentages d'argiles variant entre 6,3% et 8,3%, de sables variant de 57,30% à 74,30% et de limons variant de 19,40% à 35% dans les différentes stations échantillonnées ;
- Le taux de Carbone Organique varie de 0,54 à 3,23% et ce, dans toutes les stations ;
- L'alcalinité varie de 7 à 8,87 ;
- CaCO_3 varie de 1,01 à 12,18%.

La qualité environnementale évaluée à travers les éléments traces métalliques (Cd, Cu, Ni, Pb et Zn) permet de conclure que nos sols présentent des concentrations qui varient d'une station à l'autre (Tableau 4):

Tableau 4: Concentrations des éléments traces métalliques

Station	Cd		Cu		Ni		Pb		Zn	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
I	12,47	2,78	47,69	15,16	124,01	17,86	11,07	2,92	2127,09	400,20
II	8,76	1,81	50,43	18,74	54,86	3,02	34,49	7,16	176,89	17,70
III	9,99	2,94	50,61	7,02	126,36	0,00	13,48	1,05	1847,43	3,51
IV	10,73	3,54	46,46	22,38	282,18	21,18	37,34	4,87	2901,16	1356,03

Suivant les normes fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), on peut constater que les sols avoisinants la cimenterie présentent des anomalies :

- en Cd dans les différentes stations et qui dépassent 2ppm qui est la norme fixée par l'OMS ;
- en Ni dans quelques parcelles dans les différentes stations en dépassant les normes de l'OMS qui est 50ppm ;
- dans les stations I, II et III en Zn et qui dépassent la norme 300ppm fixée par l'OMS.

References:

- Abimbola A.F., Kehinde-Phillips O.O. & Olatunji A.S. 2007. The sagamu cement factory, SW Nigeria: Is the dust generated a potential health hazard. *Environ. Geochem. Health*, 29: 163-167.
- Adejumo J.A., Obioh I.O., Ogunsola O.J., Akeredolu F.A. and Oaniyi H.B., 1994. The atmospheric deposition of major minor and trace elements within and around cement factories. *J. Rational Nucl. Chem.*, 179: 195-204
- Ahumada I., Mendoza J., Navarette E., Ascar L., 1999. Sequential extraction of heavy metals in soils irrigated with wastewater, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30(9-10)(1999) 1507-1519.
- Al-Khashman O. A. & Shawabekh R.A. 2005. Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan. *Science direct, Environmental Pollution* 140 (2006) 387-394.
- Biasioli R., Barberis R. & Marson F.A. 2006. The influence of a large city on some soil properties and metal content. *Science of the Total Environment*, 356: 154-164.
- Bin Chen, T., Ming Zheng, Y. Lei, M., Chun Huang Z., Tao Wu, H., Chen, H., Ke Fan, K., Yu, K., Wu, X., Zheng Tian, Q., 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere* 60, 542-551.

- Carreras H.A. &Pignata M.L. 2002. Biomonitoring of heavy metals and air quality in Còrdoba City, Argentina, using transplanted lichens. *Environ. Pollut.*, 117, 77-87.
- CCME 2007. Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement. Recommandations Candiennes pour la Qualité de l'Environnement.
- ChemsiZakaria, Saber Najib, ZaakourFatna, MatechFatimaezzahra, MoustarihferKaoutar&MohcineHajar, 2013. Trace Metals In Soils Surrounding The Cement Bouskoura - Casablanca – Morocco. SciencesLib Editions Mersenne: Volume 5, N°131220.
- Chen, T.B., Wong, W.J.C., Zhou, H.Y., Wong, M.H., 1997. Assesment of trace metal distribution and contamination in surface soil of Hong Kong.*Environmental Pollution* 96, 61-68.
- Christelle F. C. 2006. *Devenir du Zn, Pb, et Cd issus de retombées atmosphériques dans les sols, à différentes échelles d'étude. – Influence de l'usage des sols sur la distribution et la mobilité des métaux-*. Thèse à l'Institut National d'Agronomie Paris-Grignon.
- Christensen T.H. 1984. Cadmium soil sorption at low concentrations: I. effect of time, cadmium load, pH and calcium. *Water Air SoilPollut.* 21, 105-114.
- Dang Z., Liu C. &Haigh M. 2002. Mobility of heavy metals associated with natural weathering of coal mine soils. *Environment Pollution* 118, 419-426 pp.
- DMNM 2013. *Direction de la Météorologie Nationale* du Maroc 2013.
- ForstnerU.,&Wittmann G.T.W. 1983. Metal pollution in the aquatic environment springer-Verlag, *Berlin*, pp. 30-61.
- Gbadebo A.M., Bankole O.D. 2007. Analysis of potentially toxic metals in airborne cement dust around Sagamu, Southwestern Nigeria.*Appl. Sci.*7: 35–40.
- Grantz D. A., Garner J. H. B. & Johnson D. W. 2003.Ecological effects of particulate matter.*Environ. Int.* 29, 213-239.
- Gray C.W., McLaren R.G. & Roberts A.H.C. 2003. Atmospheric accessions of heavy metals to some Nex Zealand Pastoral Soils. *The Science of the Total Environment*305, 105-115.
- HCP 2010. *Haut-commissariat Au Plan*, Direction Régionale du Grand Casablanca, 2010 : Monographie de la Région du Grand Casablanca.
- Isikli B., Demir T.A., User S.M., Berber A., Akar T. and Kalyoncu C., 2003. Effects of chromium exposure from a cement factory.*Environmental research* 91 113-118.
- Kabata-Pendias A. &Mukherjee A.B. 2007. Trace Elements from soil to human.*Springer-Verlag*, Berlin, New York.
- Kabata-Pendias A. &Pendias H. 2001. Trace elements in soils 3rd Ed. Boca Raton, London, New York, *CRC press*. 413 pp.

- Kamon M., Katsumi T. & Watanabe K. 2000: Heavy-metal leaching from the cement-stabilized waste sludge, *Geotechnics of High Water Content Materials*, ASTM STP 1374, T.B. Edil and P.J. Fox (eds.), ASTM, pp.123-136.
- Lamy I. 2002. Réactivité des matières organiques des sols vis-à-vis des métaux. *Journées nationales de l'étude des sols* p 22.
- Li L.Y. & Li R.S. 2000. The role of clay minerals and effects of H^+ ions on removal of heavy metal (Pb^{2+}) from contaminated soil. *Can. J. Geotech/Rev.* 37, 296-307.
- Mandal A. & Voutchkov M., 2011. Heavy Metals in soils around the cement factory in Rockfort, Kingston, Jamaica. *International Journal of Geosciences*, 2011, 2, 48-54.
- Mc Lead E.O. 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2, second ed., Agronomy, vol. 9 *Soil Society of America, Madison, WI*. pp. 199–244.
- Nicholson J.K, Nicholls A.Q. & Mortishire-Smith R.J. 2003. NMR spectroscopic-based metabolism as the mechanism of drug induced toxicity. *Chem. Res Toxicol* 17, 165-73.
- Piqué A. 1994. Géologie du MAROC. *Editions PUMAG*, Marrakech, 1994. 284 p.
- Ract P.G., Espinosa D.C.R. & Tenório J.A.S. 2003. Determination of Cu and Ni incorporation ratios in Portland cement clinker. *Elsevier, ScienceDirect*, volume 23, Issue 3, 2003, Pages 281-285.
- Sanders J.R. 1983. The effect of pH on the total and free ionic concentrations of manganese, zinc and cobalt in soil solutions. *J. Soil Sci.* 34, 315-323.
- Sanders J.R., McGrath S.P. & Adams T.M. 1986. Zinc, copper and nickel concentrations in ryegrass grown on sewage sludge-contaminated soils of different pH. *J. Sci. Food Agr.* 37, 961-968.
- Schuhmacher M., Nadal M. & Domingo J.L. 2009. Environmental monitoring of PCDD/Fs and metals in the vicinity of a cement plant after using sewage sludge as a secondary fuel. *Chemosphere*. 2009, 74: 1502-1508.
- Sterckeman, T., Douay, F., Proix, N. & Fourrier, H. (2002) Contamination des sols vers la profondeur à Noyelles-Godault et Aubry. In: Un point sur....les éléments traces métalliques dans les sols approches fonctionnelles et spatiales. INRA. Editions. Paris 565p.
- Van Oort, F., Balabane, M., Dahmani-Muller, H., Jongmans, A.G. & Nahmani, J. (2002) Approche intégrée du fonctionnement d'un système sol-plante fortement pollué en métaux: la pelouse métallicole de Mortagne du Nord. In : Les Eléments métalliques dans les sols-Approches fonctionnelles et spatiales. INRA-Editions, pp 281-297.
- Walkley A. & Black I.A. 1934. An examination of Detjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 62, 251–254.